

Changement climatique et rendement du riz au Cameroun

Moise GODOM

Doctorant en sciences économiques à
l'université de Yaoundé 2
m.godom@yahoo.com

Issidor NOUMBA

Maitre des conférences en sciences
économiques à l'université de Yaoundé 2
tonfeu_youmbi2009@yahoo.com

Résumé : Le riz est l'une des céréales les plus consommées au Cameroun dont la production dépend de plusieurs facteurs. Cette étude a pour objectif de déterminer les effets réciproques du changement climatique et la production du riz dans le grand-Nord du Cameroun. Pour y parvenir, le modèle VAR a permis d'explorer ces influences réciproques via l'évolution de pluviométries et de températures ainsi que l'intensité d'émission de CO₂ par produit du riz dans la zone septentrionale du Cameroun. Les données utilisées proviennent de FAOSTAT et de « World Bank Group Climate Change Knowledge Portal » sur la période entre 1975 et 2021. Les résultats obtenus sont : i) *L'augmentation violente de pluviométries réduit le rendement du riz ;* iii) *l'augmentation régulée de températures pendant la saison pluvieuse (de mai à octobre) améliore le rendement du riz ;* iii) *l'intensité d'émission du CO₂ par unité de production du riz réduit le régime pluviométrique, stimule l'élévation de températures par conséquent renforce le changement climatique.* Nous recommandons donc aux riziculteurs d'être attentifs aux effets réciproques du changement climatique et de la riziculture en utilisant des techniques de production rizicole émettant moins de CO₂.

Mots-clés : Changement climatique, model VAR, riz

Abstract: Rice is one of the most widely consumed cereals in Cameroon and its production depends on several factors. The objective of this study is to determine the reciprocal effects of climate change and rice production in the far north of Cameroon. To achieve this, the VAR model was used to explore these reciprocal influences via changes in rainfall and temperature as well as the intensity of CO₂ emissions per rice product in the northern zone of Cameroon. The data used are from FAOSTAT and the World Bank Group Climate Change Knowledge Portal for the period 1975-2021. The results obtained are: i) Violent increase in rainfall reduces rice yield; ii) regulated increase in temperature during the rainy season (May to October) improves rice yield; iii) CO₂ emission intensity per unit of rice production reduces rainfall regime, stimulates temperature rise and therefore reinforces climate change. We therefore recommend that rice farmers pay attention to the reciprocal effects of climate change and rice cultivation by using rice production techniques that emit less CO₂.

Keywords: Climate change, VAR model, rice

Reçu le : 07 octobre 2022, **Accepté le :** 28 février 2023

Citation : Godom M. et Nomba I. (2023), Changement climatique et rendement du riz au Cameroun, *Recherches et Applications en Sciences Economiques et de Gestion*, Vol 2, No 1, pages : 12-30.

Introduction

Les systèmes agricoles africains, principalement pluviaux, sont encore très dépendants du changement climatique imprévisible (Dinar et al, 2008) ; Seo et al, 2009). Dans la littérature, les irrégularités ou les variations non maîtrisées des pluies et de températures représentent le changement climatique qui désigne une modification globale et continue des caractéristiques climatiques et météorologiques de la Terre due aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre (FAO, 2013 ; GIEC, 2015 et GIEC, 2022). Le rythme accéléré du changement climatique, combiné à la croissance mondiale de la population et les contractions des revenus, menace partout la sécurité alimentaire (Nelson et al. 2012). Il est communément admis que les émissions de gaz à effet de serre sont principalement dues à la production industrielle, énergétique et agricole et que les effets de ces émissions sur le changement climatique se font sentir dans toute la planète sur les systèmes physiques, biologiques et humains (Parrenin et Gargas, 2020). Il présente des conséquences néfastes sur plusieurs plans : impacte négativement la vie sociale en provoquant la croissance de migration (Berleman et Steinhardt, 2017 ; Falco et al., 2019), aggrave les inégalités entre les sexes (Eastin, 2018), impacte la santé humaine et constitue des pertes substantielles en vies humaines (Meirrieks, 2021), fait partie des causes des conflits interpersonnels et des troubles sociopolitiques (Careleton et Hsiang, 2016 ; Harari et Ferrara, 2018), stimule la réduction de la productivité agricole et de la croissance économique (Dell et al, 2014). Le changement climatique influence autant les politiques monétaires pour les pays en développement (Tamno Tekam et al. 2022). Par ailleurs, l'agriculture est particulièrement vulnérable au changement climatique puisque des températures plus élevées, par exemple, sont susceptibles de réduire les rendements de certaines cultures tout en stimulant la prolifération de certaines catastrophes indésirables comme les mauvaises herbes, les mouches, les criquets, les rats, etc. les mauvaises récoltes à long terme et les baisses de production à long terme (Nelson et al, 2012).

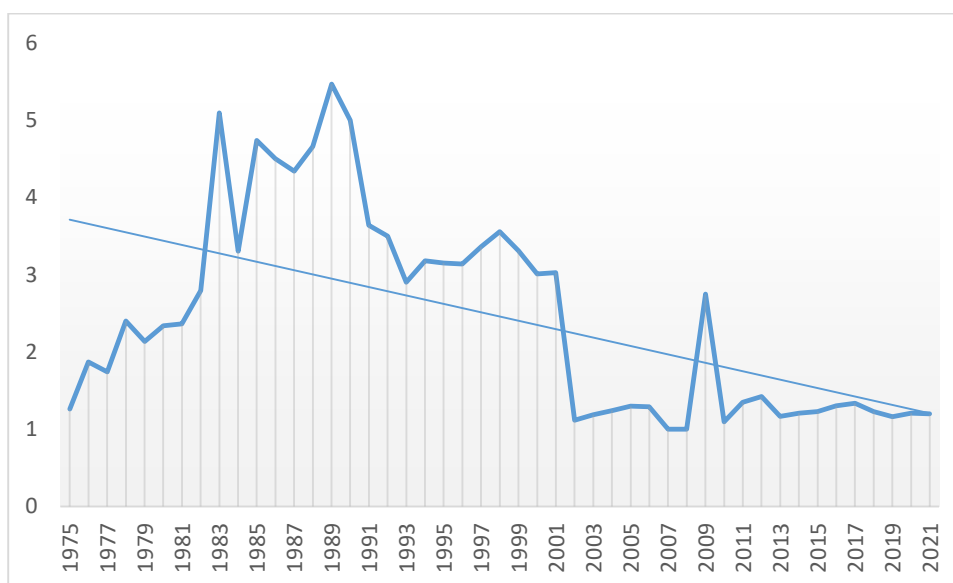
Il a également été observé que les rendements de cultures telles que le blé et le maïs ont diminué (Parrenin et Gargas, 2020). Le changement climatique s'observe par l'augmentation des écarts de températures au cours d'une même saison, par la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes et par la modification de la répartition des précipitations. Ces phénomènes ont eu et continuent d'avoir des impacts incontrôlables sur l'agriculture des pays du Nord comme du Sud (GIEC, 2015). Les manifestations du changement climatique ayant des impacts directs sur l'agriculture comprennent : les changements de l'humidité du sol (par exemple : la désertification et la pénurie d'eau, les changements dans les cycles de végétation des cultures entraînant des baisses de rendement. C'est ainsi qu'à long et à court terme l'humidité relative influence négativement la production du riz. Par contre les précipitations influent positivement la production de riz à court terme mais n'ont pas d'effet à long terme (Ajavon Ayi et al, 2020). Au-delà des travaux sur le changement climatique et les aspects socio-économiques, il est important de justifier le choix du Cameroun comme pays d'étude qui s'articule à trois niveaux : i) il faut noter qu'au Cameroun, le riz fait actuellement partie des aliments de base la plus consommé par les populations rurales et urbaines (MINADER, 2020) ; ii)

la plupart des études menées sur le changement climatique et le riz ne s'est intéressé sur le grand nord du Cameroun, pourtant cette zone participe majoritairement dans la production nationale (MINADER, 2020 ; iii) dans le nord du Cameroun, le changement climatique est un fait réel (Gérardeaux et Giner, 2012 ; Loison et al, 2017), il est donc important de voir ses effets sur le rendement du riz. C'est ainsi que l'on trouvera d'intérêt d'énoncer le problème de cette étude dans la première section.

1. Énoncé du problème

Selon le Minader (2020), la demande du riz était estimée à 576 949 tonnes alors que la production locale s'établit au tour de 140 710 tonnes (dont 74% de cette production provient du grand Nord). Les 436 239 tonnes restant sont essentiellement importées pour satisfaire cette demande excédentaire. Selon ces données, la production locale de riz ne satisfait que 24 % de la demande nationale qui se justifie en partie par la précarité de la production locale décrit par Charbolin. R depuis 1976. Parmi les facteurs de production du riz, les éléments suivants restent primordiaux : La présence du sol inondé riche en matière organique (Zingore et al., 2014), l'apport en engrais (Kone. B, 2010), l'exigence régulière en pluviométries (Courtois. B, 2007 ; Tabi et al., 2010 ; Antu et al., 2013) et la régulation de températures minimale et maximale (Zingore et al, 2014). Les rendements du riz restent encore liés aux caractéristiques climatiques, c'est ainsi que l'étude de Zingore et al (2014) décrit le plant de riz comme celui qui pousse le mieux dans un endroit avec des sols inondés en permanence et donc riche en matière organique Sur la base des caractéristiques ci-dessus spécifiques à la riziculture, l'idéal est de dire que le cycle de croissance du riz est étroitement lié aux éléments du climat. Ainsi, le changement climatique peut influencer à priori la riziculture. La figure ci-dessous montre l'évolution moyenne du rendement du riz dans le grand -nord Cameroun en T/ha entre 1975 et 2021.

Figure 1 : Tendence du rendement de riz paddy dans le grand-Nord Cameroun (T/Ha)

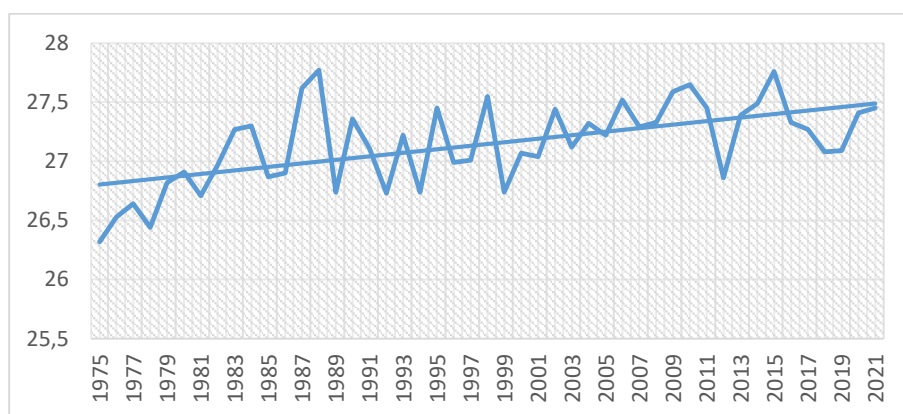


Source : auteurs, à partir des données de FAOSTAT

L'analyse interannuelle de cette figure montre que les années 1984, 1991, 2002 et 2010 ont enregistré chacune une forte baisse. Il convient également de rappeler que durant la période 1975-2021, il y a eu des années de forte croissance du rendement, comme 1985, 1989 et 2009. L'augmentation du rendement en 1985 peut être attribuée à la mise en œuvre du Cinquième Plan Quinquennal de 1984 à 1990 dans le cadre de la Nouvelle Politique Agricole. Il faut souligner que la Nouvelle Politique Agricole (NAP) et le Cinquième Plan Quinquennal, dont l'objectif était de renforcer l'amélioration des filières rurales en s'appuyant sur les filières agricoles, ont été bénéfiques à la filière riz. La figure montre que la période 1981-1991 reste celle où les rendements du riz camerounais ont été les plus élevés. Par la suite, la période 1993-2001 a également connu un rendement légèrement supérieur, bien qu'il soit encore inférieur à la période 1981-1991. La période 2002-2016 affiche une tendance constante avec un pic élevé en 2009, mais reste également inférieure à la période 1993-2001. En conclusion, cette figure montre une tendance générale à la baisse des rendements du riz dans le grand-nord du Cameroun qui s'expliquerait entre autres, par la démotivation des riziculteurs à travers la dévalorisation du riz camerounais par rapport au riz importé, la hausse ou la baisse excessive des températures et l'irrégularité ou les violences des pluies.

Pour parler des évolutions incontrôlées de températures et de pluviométrie, il faut souligner qu'elles sont devenues un sujet de grande préoccupation de la vie quotidienne des camerounais surtout dans la zone septentrionale. Ces indicateurs du changement climatique sont alternativement illustrés dans les figures ci-dessous.

Figure 2 : Evolution de températures moyennes annuelles dans la zone Grand-nord Cameroun (°C) de 1975-2021

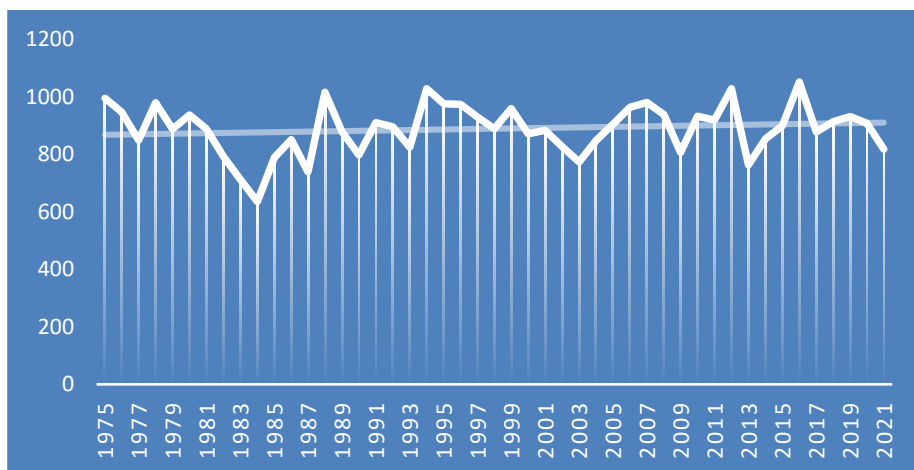


Source : Auteurs ; calcul des données de World Bank Group Climate Change Knowledge Portal

L'observation de la figure 2 permet de confirmer à priori que l'évolution de la température annuelle moyenne pendant les saisons des pluies est soumise à des variations aléatoires. Ces variations reflètent le phénomène du changement climatique, qui est à l'ordre du jour partout dans le monde, faisant des ravages sans limite et sans contrôle concret. L'évolution de la température moyenne pendant les saisons pluvieuses dans la zone septentrionale sur la période 1975-2021 affiche une tendance générale à la hausse. Cette variation oscille autour

d'une moyenne de 27.15°C, avec un maximum de 27.77°C en 1988, représentant l'année dont la saison pluvieuse reste la plus chaude dans l'intervalle d'étude suivi de l'année 2015 (27.76°C) et un minimum de 26.32°C en 1975 qui représente l'année pendant laquelle la saison pluvieuse reste la plus fraîche. Le changement climatique se manifeste aussi par les irrégularités et les violences pluviométriques observées sur la figure 3 ci-dessous.

Figure 3 : Evolution de pluviométries moyennes annuelles dans la partie Grand-nord (mm)



Source : Auteurs, à partir des données de World Bank Group Climate Change Knowledge Portal

Cette figure laisse croire à priori que l'évolution des précipitations moyennes annuelles dans la zone du Nord Cameroun manifeste des variations aléatoires sans faire recours à l'analyse statistique. Pour approfondir la compréhension de ces observations graphiques, on peut dire que de 1975 jusqu'en 2021, la pluviométrie moyenne est de 889,33mm avec un minimum de 635,56mm (en 1984) et un maximum de 1052,44mm en 2016 (l'année pendant laquelle la région de l'Extrême-Nord a enregistré des inondations avec des dégâts innombrables). L'évolution des précipitations montre une tendance globale constante malgré sa variabilité interannuelle.

Suite à ce qui précède et aux observations des graphiques présentées ci-dessus, c'est-à-dire la tendance générale à la baisse des rendements de riz, l'augmentation des températures annuelles moyennes et la variabilité interannuelle des précipitations, la croissance rapide de la population et la demande croissante en consommation de riz au Cameroun, *l'objectif de ce travail va se tourner vers la détermination de l'interaction entre le changement climatique et les rendements du riz dans la zone septentrionale du Cameroun. En d'autres termes, l'on se préoccupera sur la question de savoir quels sont les effets d'interaction entre le changement climatique et la production de riz au Cameroun ?* Cette préoccupation renforce l'intérêt de cette étude qui s'articule au niveau de la position de cette zone (Nord et extrême-nord) dans la production nationale et la vérification des effets des évolutions de températures et de pluviométries en utilisant le modèle VAR.

La suite de ce papier est organisée comme suit : La section 2 insiste sur la revue de littérature. La section 3 présente la méthodologie de l'étude. La section 4 résume les principaux résultats et les discussions. En fin l'on conclut et tire quelques recommandations de politiques économiques.

2. Revue de la littérature

Le lien entre le changement climatique et le rendement agricole en général n'est pas nouveau. La variabilité climatique expose généralement les cellules végétales de différentes cultures aux insectes ravageurs et aux maladies qui affectent la production agricole (Lobell et Gourdj, 2012). Les deux auteurs soulignent que quatre facteurs principaux ont affecté et continueront d'affecter la production agricole dans l'avenir. i) Augmentation de la température ; ii) Cycle hydrologique intensifié ; iii) augmentation de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) ; iv) O₃ troposphérique élevé. A un certain seuil de température, les rendements des cultures ont tendance à baisser et que le retard du processus de croissance conduit à une mauvaise production céréalière (Mendelsohn et Schlesinger, 1999). Plus tard, les études d'interaction entre le climat, l'eau et l'agriculture aux États-Unis, en utilisant les modifications du modèle Ricardien standard ont constaté que la valeur des terres cultivées irriguées n'est pas sensible aux pluviométries, mais augmente en valeur avec la température (Mendelsohn et Dinar, 2003). Le climat affecte également la fertilité et la qualité du sol, le taux de respiration des plantes et le processus de remplissage des grains. L'analyse d'impact du changement climatique sur la productivité du blé au Pakistan, en utilisant l'approche de la fonction de production appliquée aux données pour la période 1981-2010 ont abouti à conclure qu'une augmentation de 1 degré Celsius de la température moyenne pendant la période de semis réduirait le rendement des cultures de 7,4 % (Ahmad et al, 2014). La même hausse de la température moyenne en janvier et février peut améliorer la productivité du blé à hauteur de 6,2 pour cent. Une décennie auparavant, une découverte a révélé que lorsque les agriculteurs n'utilisent pas les techniques d'adaptation au changement climatique, une augmentation de 2 °C des températures normales entraînerait une diminution de 11 % des rendements des cultures d'hiver et une diminution de 5 % des pluviométries au cours de la même période entraîne une augmentation de 4 % des rendements des cultures (Gbetibouo et Hasan, 2005). C'est-à-dire que les techniques de gestion et le calendrier agricole sont essentiels à la productivité des terres arables (Dobor et al, 2016). Dans ce contexte, un volet de la littérature a montré que le changement climatique peut être très dommageable pour les cultures agricoles et le bétail en Afrique (Molua, 2011). Cependant, le passage en revue de 16 études menées en Afrique de l'Ouest et a conclu que dans la plupart des cas, l'effet du changement climatique sur le rendement des cultures est plutôt négatif (Roudier et al, 2011).

Il est généralement admis que la plante de riz est essentiellement aquatique, et donc très exigeant notamment en pluviométries (Courtois, 2007). Une étude menée sur la vulnérabilité de la production de riz aux effets des précipitations et des variations de température dans les marais de Ndop au Nord-Ouest du Cameroun, a constaté que la diminution et l'augmentation de l'intensité des précipitations pendant la saison des pluies affectent la production de riz inondé (Antu et al, 2013). Toutes autres choses considérées, la réduction de la quantité de pluie, la modification des régimes de précipitations, l'arrivée précoce ou tardive des pluies et la courte saison des pluies entraînent une pénurie d'eau en dessous de certains seuils, provoquant l'assèchement des marécages et par conséquent l'exposition du riz de plus en plus aux vulnérabilités dans les régions semi-arides (Tabi et al, 2010). La production de riz est vulnérable

aux anomalies extrêmes de température ainsi qu'aux sécheresses occasionnelles (Antu et al, 2013). Une étude portant sur 9 États indiens a constaté que la sécheresse et les précipitations extrêmes affectent négativement le rendement du riz, en particulier dans les zones pluviales sur la période allant de 1966 à 2002. Il est également constaté que l'impact de la sécheresse est plus élevé que l'impact des précipitations extrêmes (Auffhammer et al, 2011). En étudiant la *Variabilité climatique et production du riz dans le bas-fond de Dokomey au Bénin*, Atidegla. C.S et al (2017) ont montré que les conséquences des perturbations climatiques sur l'écosystème se traduisent par l'érosion des terres, l'inondation, le tarissement précoce des mares, les pertes de production, la baisse des rendements agricoles. Une simulation d'un modèle a prédit les effets régionaux différentiels du réchauffement climatique projeté sur le rendement du riz en Asie, compte tenu d'émission double du CO₂ et montre qu'une tolérance élevée à la stérilité des épillets induite par la chaleur ainsi qu'un potentiel de rendement élevé sous CO₂ élevé sont les deux caractéristiques importantes requises pour les géotypes de riz adaptatifs au réchauffement climatique (Horie, 2019).

En résumé, La plupart des études présentées ci-dessus utilisent des données projetées sur les variables du changement climatique pour stimuler ses effets sur les rendements agricoles et l'élevage via les modèles climatiques. L'inconvénient de ces modèles est qu'ils ne considèrent pas que la circulation atmosphérique n'est pas prévisible de manière déterministe au-delà de quelques jours, puisque la croissance des petites échelles peut contaminer l'ensemble de la circulation (Le Treut, 2004) et que les effets du changement pourraient varier avec le temps. En plus, aucune de ces études ne s'est intéressée sur l'analyse d'interaction du changement climatique et le rendement du riz dans le grand-nord du Cameroun. Etant donné que dans le grand-nord du Cameroun, le changement climatique est un fait réel (Gérardeaux et Giner, 2012 ; Loison et al, 2017), la présente étude tente d'apporter une valeur ajoutée à la littérature en utilisant la technique économétrique (précisément le modèle VAR) pour voir les interactions existantes entre le changement climatique et le rendement du riz dans le grand-nord du Cameroun

3. Méthodologie

Cette section présente les sources de données et la stratégie empirique.

3.1 Sources et traitements de données

Dans la base de données du « Work Bank Group Climate Change knowledge Portal », nous avons extrait des données sur les températures (en degrés Celsius) et les pluviométries mensuelles dans la région du Nord et de l'extrême-nord du Cameroun. Nous avons calculé les moyennes semestrielles de chaque région tout en considérant que la saison pluvieuse dure six mois (mai, juin, juillet, août, septembre et octobre). Nous avons ensuite calculé les moyennes de ces deux variables en référence de ces deux régions constituant la zone septentrionale du Cameroun dans lesquelles les rizicultures pluviales et irriguées sont effectués. Dans la base de données de la FAO (FAOSTAT), nous avons eu des données sur les rendements du riz paddy (en hg/ha), que nous avons converties en tonnes par hectare en références des données de

SEMY. Les données sur l'intensité des émissions de CO₂ par produit du riz en giga grammes, captant la concentration moyenne de dioxyde de carbone par la production du riz sont aussi fournies par la FAOSTAT. La période d'étude s'étend de 1975 à 2021 qui est suffisamment longue pour effectuer une analyse à long terme.

Toutes les données ont été transformées en prenant le logarithme népérien (Ln) pour corriger les variations sinusoïdales généralement rencontrées dans certaines séries temporelles. Les variables considérées dans le modèle d'analyse sont alors : le rendement du paddy représenté par (LnR), la température annuelle par (LnT) ; pluviométries annuelles par (LnP) et émissions de CO₂ par (LnICO₂). La description statistique des données de ces variables sont décrites dans le tableau 1 ci-dessous.

3.2 Stratégie empirique

Tableau 1 : Descriptions statistiques des données

	LnR	LnP	LnT	LnICO ₂
Mean	0,755493	6,785483	3,301161	4,343895
Median	0,848697	6,798833	3,303952	3,870422
Maximum	1,698693	6,958867	3,323956	6,178763
Minimum	0,000000	6,454507	3,270329	3,017088
Std. Dev.	0,545373	0,102379	0,013042	1,004627
Skewness	0,138079	-0,844230	-0,336236	0,688604
Kurtosis	1,527253	3,989011	2,391138	2,115279
Jarque-Bera	4,396943	7,498538	1,611572	5,247224
Probability	0,110973	0,023535	0,446737	0,072540
Sum	35,50818	318,9177	155,1546	204,1631
Sum Sq. Dev.	13,68186	0,482142	0,007824	46,42671
Observations	47	47	47	47

Source : les auteurs, estimation faite à partir de EvIEWS 10

Il ressort du tableau 1 que les coefficients d'asymétries (Skewness) des variables température et pluviométries en considérant leur logarithme sont négatives et non proches de zéro. Ainsi, les distributions de ces variables sont symétriques par rapport à leur moyenne, ce qui signifie que les masses de probabilité sont concentrées équitablement sur les parties inférieure et supérieure de leur moyenne. C'est-à-dire que sur les 47 années considérées, la probabilité de tomber sur une année où les observations de températures et de précipitations soient inférieures à leur moyenne est équitablement répartie que leur complément.

Tous les Kurtosis sont positifs et supérieurs à 1, on peut donc en déduire que les variations sont plus plates qu'une distribution normale (ce qui se justifie par la significativité du

test de Jarque-Bera au seuil de 5%) pour toutes les variables. Les écart-types de rendement du riz et de CO₂ émis sont élevés par rapport à ceux de températures et de pluviométries, l'on observe donc des écarts importants par rapport à la moyenne. On peut donc suspecter l'état de non stationnaire des séries temporelles de rendement du riz et du CO₂ émis en prenant leur évolution logarithmique. Il y'aura lieu par la suite de faire le test de stationnarité de Dickey Fuller Augmenté (ADF) puis le test de Causalité de granger et en fin le test de Co-intégration de Johannsen.

Puisque le but de l'étude est de déterminer les effets réciproques du changement climatique et les rendements du riz dans la zone septentrionale du Cameroun, nous allons utiliser le modèle VAR standard, pour déduire statistiquement la contribution de la température et des pluviométries et une variable de contrôle (l'intensité de CO₂ émis par produit du riz) aux rendements du riz et leur Valeurs retardées. De manière générale, ce modèle VAR adapté aux objectifs de l'étude est précisé comme suit.

$$LnRt = \omega_{10} + \omega_{11} LnRt-1 + \omega_{12} LnTt-1 + \omega_{13} LnPt-1 + \omega_{14} LnICO2t + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$LnTt = \omega_{20} + \omega_{21} LnRt-1 + \omega_{22} LnTt-1 + \omega_{23} LnPt-1 + \omega_{24} LnICO2t + \varepsilon_2 \quad (2)$$

$$LnRPt = \omega_{30} + \omega_{31} LnRt-1 + \omega_{32} LnTt-1 + \omega_{33} LnRft-1 + \omega_{34} LnICO2t + \varepsilon_3 \quad (3)$$

Dans ce système de trois équations, R représente le rendement du riz paddy en tonnes/ha ; T, Température moyenne annuelle en degré Celsius ; P, pluviométrie annuelle en mm ; ICO₂, intensité d'émissions de CO₂ par produit du riz en gigagrammes (variable de contrôle) ; t fait référence au temps en années, t = 1975, ..., 2021 ; LnRt - 1, LnTt - 1, LnRPt-1 et LnICO2t-1 sont les variables respectives retardées et ε_1 , ε_2 , ε_3 sont des bruits blancs.

Le modèle étant déjà spécifié, l'on passera à la présentation et discussions des résultats en passant par les éventuels tests statistiques.

4. Résultats et discussions

4.1. Description du test usuel : Test de causalité de Granger

Avant l'estimation du système spécifié, nous allons effectuer le test de Dickey-Fuller augmenté, le test de causalité de Granger et le test de co-intégration. Les paramètres d'un modèle VAR ne peuvent être estimés que sur des séries temporelles stationnaires. Par conséquent, nous effectuons d'abord le test de stationnarité de Dickey-Fuller augmentée sur les variables des modèles. Les résultats de ce test sont récapitulés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Test de stationnarité augmentée de Dickey-Fuller

Variabes	A niveau	Différence première
LnR	-3,400197	-9,997371***
LnT	-6,151594**	//
LnP	-4,845036	-6,726480***
LnICO2	-1,372752	-9,182871**

Source : Les auteurs, estimations effectuées à partir du logiciel Eviews 10 (*** et ** correspondent respectivement à la significativité à 1%, et 5%)

A la lumière de test de DFA, il est constaté que toutes les variables ne sont pas stationnaires à niveau, sauf la variable température (LnT) qui est stationnaire à niveau. Nous les avons rendus stationnaires en faisant la différence première. Ainsi, elles sont intégrées d'ordre 1 et les variables LnR, LnP et LnICO2 sont alors intégrés d'ordre 1 (elles sont I(1)). Il y a par conséquent un risque de Co intégration. Mais avant de passer en revue le test de Co intégration de Johansen, nous allons effectuer en premier lieu le test de causalité de granger pour voir si les variables entretiennent des relations d'influence réciproque ou non.

4.1.1. Test de causalité de granger

La réalisation du test de causalité de Granger nécessite d'abord la détermination préalable du nombre de retard du modèle VAR(p). A la lecture des critères d'information (voir tableau 1 en annexe), le retard optimal p est égal à 1 selon les critères AIC et QH.

Tableau 3 : Estimation du test de causalité de Granger

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
LnPds does not Granger Cause LnRds	45	0,00727	0,9325
LnRds does not Granger Cause LnPds	45	0,26532	0,6092
LnT does not Granger Cause LnRds	45	0,25477	0,6164
LnRds does not Granger Cause LnT	45	0,63642	0,4295
LnICO2DS does not Granger Cause LnRds	45	0,02731	0,8695
LnRds does not Granger Cause LnICO2ds	45	0,40794	0,5265

Source : les auteurs, estimation effectuée à partir de Eviews 10

Les résultats du test de causalité globale de granger indiqués dans le tableau 3 ci-dessus montrent que les variables pluviométrie, température et intensité du CO2 émis par produit du riz influencent significativement le rendement du riz paddy seuil de 5%. Mais ces influences peuvent être négatives ou positives, et seront confirmées par les signes des coefficients d'estimation. En plus, les variables LnRds, LnPds et LnICO2ds étant intégrées à l'ordre 1, il y a une chance d'avoir une relation de co-intégration entre rendement du riz paddy, pluviométrie annuelle et l'intensité d'émissions de CO2 par produit du riz.

5.1.2 Test de co-intégration de Johanssen sur les variables

Tableau 4 : Résultats du test de co-intégration de Johanssen

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace) LnRd et LnRfds				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0,05 Critical Value	Prob.**
None *	0,543076	62,25591	15,49471	0,0000
At most 1 *	0,468297	27,79346	3,841466	0,0000

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace) LnRds et LnICO2ds				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0,05 Critical Value	Prob.**
None *	0,501392	49,46646	15.49471	0 ,0000
At most 1 *	0,348385	18,84529	3.841466	0,0000

Source : les Auteurs, estimations effectuées à partir du logiciel Eviews 10

Au seuil ce de 5%, le test de co-intégration de Johansen révèle la présence d'une relation de co-intégration entre le rendement du riz paddy et la pluviométrie (voir la partie supérieure du tableau 4) et entre le rendement du riz et l'intensité d'émissions du riz (voir la partie inférieur du tableau 4 ci-dessus). On peut donc utiliser un modèle vectoriel à correction d'erreurs pour estimer les coefficients des variables explicatives. C'est ce qui nécessite l'utilisation d'un modèle dynamique (le modèle VAR) permettant d'obtenir les relations réciproques entre ces variables.

4.2. Estimation et présentation des résultats du model VAR

Tableau 5 : Estimation du modèle VAR

	Model 1	Model 2	Model 3
	LNR	LNP	LNT
LNR(-1)	0,539459 (0,12103) [4,45735]	-0,051828 (0,04143) [-1,25110]	0,003918 (0,00503) [0,77946]
LNP(-1)	-0,225602 (0,43078) [-0,52370]	0,351734 (0,14745) [2,38542]	-0,009465 (0,01789) [-0,52904]
LNT(-1)	0,945346 (3,58382) [0,26378]	2,787836 (1,22670) [2,27263]	0,225537 (0,14883) [1,51538]
C	-0,321857 (12,7777) [-0,02519]	-4,646837 (4,37365) [-1,06246]	2,597145 (0,53064) [4,89433]
LNICO2	-0,209984 (0,06786) [-3,09424]	-0,027572 (0,02323) [-1,18700]	0,004920 (0,00282) [1,74576]
R-squared	0,767784	0,221007	0,216810
Adj. R-squared	0,745129	0,145008	0,140401

Source : Les auteurs, estimations réalisées avec le logiciel Eviews 10.

Note : Les chiffres entre parenthèses représentent l'écart type et entre crochet le test de Student.

L'estimation du modèle VAR spécifié, dans lequel le rendement du riz, la température et les précipitations sont des variables expliquées en interdépendance est globalement significatif à 74%. En plus, le test de normalité des erreurs de Jarque-Berra contenu dans le tableau d'orthogonalisation des erreurs d'estimation de cholecky montre une distribution normale des erreurs au seuil de 5 % (voir tableau 1 de l'annexe).

4.3. Discussions des résultats

Avant la discussion, il faut d'abord signifier que les résultats d'estimation révèlent que dans le modèle 1 du tableau 5, le rendement du riz retardé d'une période est significatif et positivement lié à sa valeur actuelle. Cela confirme l'hypothèse de la baisse continue du rendement du riz de 1975 à 2021, comme le montre la figure 1 ci-dessus. Les coefficients associés au décalage de températures et de pluviométries sont respectivement positifs et négatif. Ainsi, la hausse de températures et de pluviométries influence tour à tour le rendement du riz de manière positive et négative. De même l'intensité d'émission de CO₂ par produit du riz impacte négativement le rendement du riz. Dans le modèle 2 (tableau 5), la pluviométrie (LnP) est influencée négativement par l'intensité d'émissions de CO₂ par unité de production du riz (LnICO₂). Dans le modèle 3, les résultats montrent que l'intensité des émissions de CO₂ par unité de production du riz impacte négativement la température, puisqu'une augmentation des émissions de CO₂ amplifie l'élévation de la température (LnT). Dans la zone septentrionale du Cameroun, le changement climatique est l'un des facteurs qui ont dégradé les rendements du riz tout au long de la période étudiée. De même, l'intensité d'émission de CO₂ par unité de production du riz stimule considérablement la diminution du rendement du riz, la réduction de pluviométries et de températures en saison pluvieuse.

Le rendement du riz est négativement influencé par l'intensité des émissions de CO₂ et positivement influencé par l'augmentation de la température pendant la saison pluvieuse. La relation positive entre le rendement du riz (LnR) et la température (LnT) confirme les travaux publiés en 2012 sur « *l'effet positif du changement climatique sur le riz à Madagascar* » par Edward Gerardeaux et Michel Giner qui ont trouvé *des effets positifs de l'augmentation de la température et du CO₂ sur la croissance du riz et ont montré que les effets globaux sur les rendements du riz sont positifs*. Dans la même considération, Mendelsohn et Dinar (2003) ont trouvé en utilisant le modèle Ricardien standard que *la valeur des terres cultivées irriguées n'est pas sensible aux pluviométries, mais augmente en valeur avec la température*. Dans les scénarios de changement climatique les plus pessimistes, ils ont démontré que la durabilité de ces systèmes est menacée, ce qui confirme autant notre résultat d'effet négatif d'intensité d'émission de CO₂ à travers le stock du carbone par unité de production du riz.

La relation entre la température et les émissions de CO₂ est positif, ce qui signifierait que l'augmentation des émissions de CO₂ fait augmenter la température. En revanche, l'impact négatif de l'augmentation de pluviométries extrêmes sur le rendement du riz contredit les résultats de l'étude de Brigitte Courtois (2007) qui avaient montré que la plante de riz est trop exigeant en eau, pour lequel une forte quantité de pluie reste encore très nécessaire pour influencer positivement le rendement. Notre résultat confirme l'étude d'Auffhammer et al. (2011) portant sur 9 États indiens constatant que les précipitations extrêmes affectent négativement le rendement du riz, en particulier dans les zones pluviales sur la période allant de 1966 à 2002. Dans ce même ordre d'idée, les travaux de Ajavon Ayi et al. (2020) ont montré que les Effets d'humidité relative sur la production du riz dans les départements du zou et des collines au centre du Bénin sont négatifs à court et long terme. Par contre les précipitations influent positivement la production de riz à court terme mais n'ont pas d'effet à long terme. Ce dernier résultat paraît contradictoire à notre résultat qui se justifie par la précision de la saison de l'étude. Bien que les résultats de notre étude paraissent contre intuitive, il faut préciser que

l'augmentation de pluviométries s'explique par la présence des pluies torrentielles et violentes occasionnant des inondations et la destruction des cultures susceptible de réduire la production du riz comme l'a indiqué l'étude de Atidegla et al. (2017).

Conclusion

Le changement climatique est devenu une préoccupation mondiale dont l'influence sur la production agricole est longtemps restée d'autant plus dangereuse et incontrôlée que certaines cultures agricoles contribuent à son accélération. Cette étude nous a permis d'analyser les effets réciproques du changement climatique et du rendement du riz au Nord et à l'extrême-nord du Cameroun en tenant compte des évolutions de températures et de pluviométries pendant les saisons pluvieuses ainsi que l'intensité d'émissions de CO₂ par produit du riz. Dans la méthodologie, nous avons fait recours à des techniques statistiques et économétriques pour étudier ces effets réciproques à l'aide du modèle VAR. Nous avons fait recours à la base de données du World Bank Group Climate Change Knowledge Portal pour avoir des données sur l'évolution de températures et de pluviométries et à la base de données de la FAO (FAOSTAT) pour avoir des données sur les rendements (convertis en T/ha) de riz et Données sur l'intensité d'émissions de CO₂ sur la période 1975-2021.

Les résultats de cette étude ont montré que : i) *les rendements du riz dans la zone septentrionale Camerounaise sont affectés négativement par l'augmentation violente de pluviométries ; ii) l'augmentation modérée de températures pendant la saison pluvieuse (entre mai et octobre) permet d'améliorer le rendement du riz ; iii) l'augmentation de la température et la diminution de pluviométries sont renforcées par l'augmentation d'intensité d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par produit du riz.*

A la lumière de ces constats et compte tenu de la politique de relance de l'économie Camerounaise reposant essentiellement sur la modernisation de l'agriculture par le développement et la transformation locale de ses produits, il est recommandé aux agriculteurs de prendre conscience de la relation négative entre le changement climatique et les activités agricoles, en particulier la riziculture. De manière précise et concernant cette étude, les riziculteurs doivent utiliser des nouvelles techniques rizicoles émettant moins de CO₂ pour adapter le système rizicole à ces évolutions. Ces recommandations devraient être suivies à la lettre par des actions gouvernementales chaque année.

Références

- Atidegla. C.S, Koumassi. H.D, Mouzou. E.T. et Houssou. E (2017). Variabilité climatique et production du riz dans le bas-fond de Dokomey au Bénin Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé -- Vol. 19 No. 2.

- Ajavon Ayi Y.C, Kpatinnon N. R et Tente A. H. B (2020). Effets des changements climatiques sur la production du riz dans les départements du zou et des collines au centre du Bénin, Afrique de l'ouest ; *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research* Vol. 07, Issue 07, pp. 6024-6033.
- Ahmad, M., Siftain, H. and Iqbal, M. (2014). *Impact of Climate Change on Wheat Productivity in Pakistan : A District Level Analysis*. IDRC Climate Change Working Paper Series No. 1, DOI: [10.13140/2.1.1192.0167](https://doi.org/10.13140/2.1.1192.0167).
- Antu. V. N, Nkwemoh. C. A. and Tchawa. P (2013). « The vulnerability of swamp rice production to the observed effects of rainfall and temperature variability in Ndop sub-division, Cameroon » ; *Canadian Journal of Tropical Geography*, Vol. 3, No.2, pp. 1-14. <http://laurentian.ca/cjtg>.
- Arditi.C. (1985). Quelques réflexions socio-économiques sur la riziculture irriguée dans le Nord Cameroun (SEMRY I et SEMRY II). In : *Bulletin de l'Association française des anthropologues*, N°. 20. Recherche et/ou développement : <https://doi.org/10.3406/jda.1985.1266>.
- Auffhammer. M, Ramanathan. V, and Vincent. J. R (2011). « Climate change, the monsoon, and rice yield in India » ; *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-0110208-4. Springer Science+Business Media B.V. 2011.
- Benjamin. S. (2016). *L'agriculture face au défi du changement climatique : l'exemple du Sahel*. Metis UMB/7619.
- Berleman. M and Steinhardt. M. F (2017). « Climate Change, Natural Disasters, and Migration a Survey of the Empirical Evidence ». *CESifo Economic Studies*, 63(4), 353-385.
- Carleton. T. A and Hsiang. S. M 2016. « Social and Economic Impacts of Climate. Science », 353(6304), aad9837.
- Charbolin, R. (1976). « *Le secteur expérimental de modernisation de la riziculture de Yagoua - SEMRY* (2e partie). Horizon pleins textes. Publications des scientifiques de l'IRAD ».
- Cline, W. R. (2008). « Réchauffement climatique et agriculture. *Finances et développement*. pp. 23-27 ».
- Courtois. B. (2007). « *Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique*. Cirad, UMR1096, TA40/03 34398, Montpellier Cedex 5, France ».
- Dell. M, Jones. B. F and Olken. B. A 2014. "What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature". *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740-798.
- Dinar. A, Hassan. R, Mendelsohn. R, and Benhin. J. (2008). *Climate Change and Agriculture in Africa: Impact Assessment and Adaptation Strategies*. London :
- Earthscan Publishing.
- Dobor. L, Barcza. Z. et al. (2016). Crop planting date matters : Estimation methods and effect on future yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223, pp. 103–115.
- Frédéric. B. (2010). « Contribution de l'agriculture africaine au changement climatique et potentiel d'atténuation. *Grain de sel*, N°. 49, janvier – mars ».

- Gerardeaux.E et Giner.M. (2012). *L'effet positif du changement climatique sur le riz à Madagascar*
- Gérardeaux. E. Sultan. B. P, Guiziou. C, Oettli. P and Naudin. K. (2013). « Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO2 enrichment and conservation agriculture in Cameroon » ; *Agronomy for sustainable development*, Vol. 33, Issue 3, pp 485–495.
- Gbetibouo. G. A and Hassan. R. M. (2005). « Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: Ricardian approach » ; *Global and Planetary Change*, No. 47, pp. 143– 152.
- GIEC. (2007). *Bilan des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC*, PNUE, Genève ».
- GIEC. (2015). *Changement climatique : état des lieux du 5ème rapport du GIEC* ; Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), France.
- GIEC. (2022). « *Climate Change2022, Mitigation of Climate Change* ». Sixth Assessment Report.
- Gildas. L. D, Edja. A. H. and Nouatin. G. S. (2015). Variation climatique et production vivrière : la culture du maïs dans le système agricole périurbain de la commune de Parakou au Nord-Benin ; *Afrique Science*, 11 (6), pp.183-194. hal-01540739.
- Harrari. M and Ferrara. E. L (2018). « Conflict, Climate, and Cells: A Disaggregated Analysis ». *Review of Economics and Statistics*; PP 594-608.
- Horie, T. (2019). « Global warming and rice production in Asia: Modeling, impact prediction and adaptation ». *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci*, Vol. 95(6), pp. 211244. doi: 10.2183/pjab.95.016.
- Jagoret. P, Todem. H , Ngogue. E, Bouambi. J. L. and Nyassé.S. (2009). Diversification des exploitations agricoles à base de cacaoyer au Centre Cameroun: mythe ou réalité? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13(2), pp. 271-280.
- LE Treut. H. (2004). “Comment je vois le monde, Evolution climatique: les modeles et leurs limites”, édité par Le Treut, H., Jancovici, J., M., *Effet de serre : allons-nous changer le climat ?*, Editions Champs, Flammarion.
- Lobell. D. B. and Gourdj. S. M. (2012). « The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity ». *Plant Physiology*, Vol. 160, pp. 271- 280.
https://www.researchgate.net/publication/232231203_The_Influence_of_Climate_Change_on_Global_Crop_Productivity [accessed Apr 05 2022].
- Loison, R. et al. (2017). « Designing cotton ideotypes for the future : Reducing risk of crop failure for low input rainfed conditions in Northern Cameroon ». *European Journal of Agronomy*, Vol. 9. pp. 162-173.
- Meierrieks. D (2021). « Weather Shocks, Climate Change and Human Health ». *World Development*, 138, 105228
- Mendelsohn, R. and Dinar, A. (2003). Climate, Water, and Agriculture. *Land Economics*, Vol. 79, No. 3, 328-341. DOI: [10.2307/3147020](https://doi.org/10.2307/3147020).
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) (2020). « *Stratégie nationale de développement de la riziculture au Cameroun, Mouture II* ».

- Molua. E. L. (2011). « Climate change and African agriculture : Review of impact and adaptation choices. In Kondlo and Ejiogu (Eds.) », *Governance in the 21st Century*, HRSC Press.
- Nelson. G. C et al. (2012). « *Climate change impact of agriculture and costs of adaptation* ». Food policy report, International Food Policy Research Institute, pp1-57.
- Roudier. P, Sultan. B, Quirion. P. and Berg.A. (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, Vol. 21, Issue 3, pp.1073-1083. DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007).
- Rhys. H. J, Westra. S. P. and Sharma. A. (2010). Observed relation between extreme sub-daily precipitation, surface temperature, and relative humidity. *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, L22805. Doi: 10.1029/2010GL045081, <http://hdl.handle.net/2440/72507>.
- Seo. S. N, Mendelsohn. R, Dinar. A, Hassan. R. and Kurukulasuriya. P. (2009). A Ricardian analysis of the distribution of climate change impacts on agriculture across agro-ecological zones in Africa. *Environmental and Resource Economics* 43(3), pp. 313–332.
- Sie. M. (1997). « *Analyse des contraintes photo-thermiques en vue de l'adaptation des variétés de riz irrigué au Sahel* ».Thèse de doctorat, Montpellier, France, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie ».
- Tamno Tekam J.E, Keneck-Massil.J et Bikai J. Landry. (2022). Changement climatique et politique monétaire dans les pays en développement; BEAC, direction des études, de la recherche et des statistiques.
- Tabi, F.O. et al. (2010). Perceptions of rain fed lowland rice farmers on climate change, their vulnerability and adaptation strategies in the Volta Region of Ghana. *SAT Journal*, Vol. 4; pp.2-4.
- Tingem. M, Rivington. M, Bellocchi. G, Azam-Ali. S and Colls. J. (2003). « Effects of climate change on crop production in Cameroon ». *Inter-Research Science Publisher*, Vol. 36, pp. 65-77
- Zingore. S, Wairegi. L et Kabirou.M. N (2014). Guide pour la gestion des systèmes de culture de riz. Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi.

Annexe

Tableau 1 : Sélection du retard maximal

VAR Lag Order Selection Criteria Endogenous variables: LNR LNT LNRF Exogenous variables: C LNICO2 Date: 02/17/23 Time: 00:02 Sample: 1975 2021 Included observations: 43						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	162.7078	NA	1.37e-07	-7.288735	-7.042986*	-7.198110
1	178.3511	27.64863*	1.01e-07*	-7.597726*	-6.983354	-7.371164*
2	180.4026	3.339627	1.41e-07	-7.274539	-6.291544	-6.912041
3	183.2823	4.286062	1.91e-07	-6.989874	-5.638255	-6.491439
4	191.1154	10.56554	2.10e-07	-6.935598	-5.215356	-6.301226
* indicates lag order selected by the criterion LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level) FPE: Final prediction error AIC: Akaike information criterion SC: Schwarz information criterion HQ: Hannan-Quinn information criterion						

Source : Auteurs, à partir d'estimation par EvIEWS 10

Tableau 2 : Test de normalité d'erreurs d'estimation

VAR Residual Normality Tests Orthogonalization: Cholesky (Lutkepohl) Null Hypothesis: Residuals are multivariate normal Date: 02/17/23 Time: 00:11 Sample: 1975 2021 Included observations: 45				
Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.*
1	-0.161108	0.194667	1	0.6591
2	0.170087	0.216973	1	0.6414
3	-0.477242	1.708200	1	0.1912
Joint		2.119840	3	0.5479
Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	6.151416	18.62142	1	0.0000
2	2.631299	0.254888	1	0.6137
3	3.964478	1.744158	1	0.1866
Joint		20.62046	3	0.0001
Component	Jarque-Bera	df	Prob.	
1	18.81608	2	0.0001	
2	0.471861	2	0.7898	
3	3.452358	2	0.1780	
Joint	22.74030	6	0.0009	
*Approximate p-values do not account for coefficient Estimation				

Source : Auteurs, à partir d'estimation par Eviews 10